

非線形回帰モデルを用いた灌水タイミング決定手法の検討

坪井 祐磨[†] 後藤 将弥^{††} 水野 涼介^{††} 峰野 博史[‡]静岡大学情報学部情報科学科[†] 静岡大学大学院総合科学技術研究科^{††} 静岡大学大学院情報学領域[‡]

1. はじめに

近年、農業分野において、農業従事者の高齢化と後継者不足により熟練農家の持つ高度な栽培技術の継承が困難となっている。例えば、与える水を制限し果実の糖度を高める水ストレス栽培は、熟練農家の経験と勘に基づく高度な栽培技術の一つである。近年では、この水ストレス栽培を実現する自動灌水制御の研究が進められている[1-4]。しかしながら自動灌水制御において、灌水の是非を判断する閾値の設定にはやはり熟練農家の経験と勘が必要であった。当研究グループでは、この課題を解決するために、植物に与えられた水ストレスに応じて動的に閾値を算出する手法を検討してきた[5]。しかし、本手法で定義している水ストレス指標では、一日の中でも大きく変化する気象環境に対し、植物の状態が短期的に変化することまでは考慮していなかった。そこで本研究では、非線形回帰モデルを用いた機械学習で回復量を推定し、一日の中でも大きく変動する気象条件によって変化する微細な植物状態の変化をも考慮した灌水タイミング決定手法を提案する。

2. 関連研究

水ストレス栽培における適切な灌水タイミングを決定する手法として、動的に閾値を算出する手法[5]（以降、従来手法）を検討してきた。従来手法では、水ストレス指標として茎径変位量 DSR (Difference in stem diameter calculated from the most recent irrigation)を用いる（式(1)）。

$$DSR_t = \max(SD_{t-n}, \dots, SD_t) - SD_t \quad (1)$$

現在時刻 t における茎径変位量 DSR_t は、直前の灌水時刻 n から現在時刻 t までの最大茎径 $\max(SD_{t-n}, \dots, SD_t)$ と現在時刻 t の茎径 SD_t の差で算出する。ここで、茎径 SD は、植物の成長に与える負担が少なくなるよう、非破壊非接触で測定可能なレーザー変位計を用いて測定する。

灌水タイミングの決定手法を図1で説明する。灌水までに与えた水ストレス量 DSR (②) から、灌水によって回復した水ストレス量である回復量 R (③)

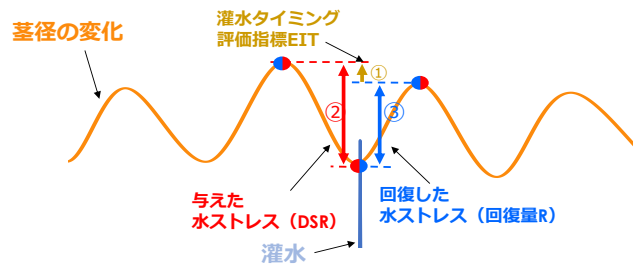


図1 茎径の変化とEIT

を引いた値を、灌水タイミング評価指標 EIT (Evaluation of irrigation timing) (①) とする。DSR と R が等しくなる、つまり EIT が 0 になるように灌水タイミングを早めたり遅らせたりするよう閾値を動的に更新することで、植物にとって適切な水ストレス量の灌水を実現する。従来手法では、この灌水タイミング評価指標 EIT を算出する前処理として、前日までの条件を満たした日の茎径変位データに対し、移動平均を用いて長期的変化を取り除いてから、灌水で制御可能な短期的変化を抽出していた。しかし、温度や湿度の変化によって、一日の中でも茎径の短期的変化は生じるため[6]、前日までのデータではなく灌水判断時までの最新データを用いて閾値を動的に更新することで、より適切な灌水制御に改良できると考える。

3. 提案手法

3.1. 概要

従来手法の前処理をやめ、与えられた水ストレス量 DSR と気象環境データを説明変数とする非線形回帰モデルを用いた機械学習によって、灌水で回復する水ストレス量 R を推定し、灌水タイミング評価指標 EIT を算出する。非線形回帰モデルを用いて回復量 R を推定することで、一日の中でも大きく変動する気象条件によって変化する微細な植物状態の変化をも考慮した灌水タイミング決定手法を実現する。算出された EIT に応じて灌水の是非を決定することで、灌水タイミングを早めたり遅らせたりできる。これにより、灌水によって回復できる適度な水ストレスを植物に与えることができ、植物を枯らすことなく適切に回復できる量で水分量を制限した灌水によって高品質の果実を栽培できると考える。

Irrigation timing control method with nonlinear regression model

Yuma Tsuboi[†], Masaya Goto^{††}, Ryosuke Mizuno^{††}, Hiroshi Mineno[‡][†] Faculty of Informatics, Shizuoka University^{††} Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University[‡] College of Informatics, Academic Institute, Shizuoka University

表 1 回復量R推定モデル概要

学習器	RandomForest
目的変数	回復量 R
説明変数	水ストレス指標 DSR 気象環境データ (温度, 湿度, 日射量) 前回灌水時点からの気象環境データの階 差および積算値

表 2 各処理区栽培条件

処理区	株数	水ストレス指標	灌水制御方法
熟練農家	64	積算日射量	熟練農家
従来手法	64	DSR(mm)	前日までデー タで閾値更新
[5]			
提案手法	64	DSR(mm)	回復量推定

3.2. モデル構築

目的変数とする回復量 R は、温度や湿度といった気象条件やその時点までの水ストレス状況といった様々な要因が複雑に絡み合っているため、RandomForest といった非線形回帰モデルで機械学習を行う。モデル構築の概要を表 1 に示す。学習データセットは、水ストレス指標 DSR, 気象環境データ (温度, 湿度, 日射量), それら 3 種類のデータの前回灌水時点からの気象環境データの階差および積算値を説明変数とした。2018 年 3~7 月, 2018 年 10~2 月, 2019 年 4~8 月の栽培実験 (品種: フルティカ) で得られた総データ数は、19892 となった。

4. 実証実験

本灌水タイミング決定手法によって適切な水ストレス栽培を実現できるか検証するために、実際にトマトの栽培実験を行った。栽培期間は、2019 年 11~2020 年 1 月である。栽培するトマトの品種, 栽培環境は、学習データセット収集時と同様である。栽培実験は、同一のハウス内に灌水制御手法のみ異なる 3 つの処理区を構築して実施した。

各処理区の栽培条件を表 2 に示す。熟練農家手法は、水ストレス指標として積算日射量を、従来手法は前日までのデータで閾値更新して灌水制御を行った。実証実験を行うための灌水制御システムでは、レーザー変位計を用いて茎径を計測し DSR を算出する。また、無線散乱光センサノードを用いて、1 分毎に気温, 湿度, 日射量を収集する。DSR と気象環境データを入力とし、その時点で灌水を行った場合の回復量 R を推定する。DSR と、推定された回復量 R を用いて EIT を算出し、EIT が 0 以上である場合は灌水を行い、0 未満の場合は灌水を行わない。

以上の灌水制御で栽培実験を行い、各処理区で収穫されたトマトの平均 Brix と収量を分析した。

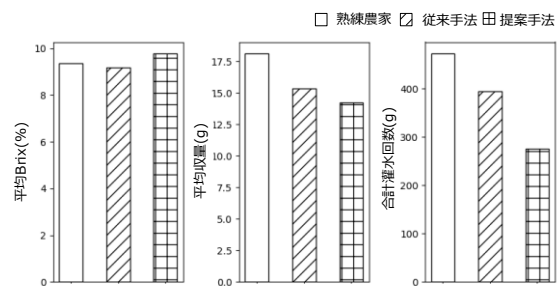


図 2 平均Brix, 収量, 合計灌水回数

5. 結果と考察

2019 年 12 月 5 日~2019 年 12 月 17 日に収穫されたトマトのサンプル数は、熟練農家処理区で 91 個, 従来手法処理区で 147 個, 提案手法処理区で 121 個であった。収穫された個々のトマトは、一つずつ全て重量計で収量を計測してから、切れ目を入れ果汁を絞り Brix 計で計測した。算出した平均 Brix と平均収量を図 2 に示す。平均収量は提案手法処理区が最も小さく、熟練農家処理区が最も大きく、平均 Brix は提案手法が最も高い結果となった。一般に水ストレス栽培では、水分量が制限され果実が小さくなり、光合成産物が凝縮されるため Brix が高くなると言われており、提案手法処理区は適切な水ストレス栽培を実現できたと言える。実際に提案手法処理区の合計灌水回数は、熟練農家処理区と比べ約 2 分の 1 の灌水回数と少ないことが分かる。本提案手法を用いることで、一日の中でも大きく変化する気象条件によって変化する微細な植物状態の変化をも考慮した灌水制御を実現でき、養液の灌水回数を抑えて必要な養液量を減らしつつ、高 Brix のトマトを栽培できることを確認できた。

謝辞

本研究の実験にご協力いただいた株式会社 Happy Quality の宮地様, サンファーム中山株式会社の玉井様に深い感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Kaneda, Y., et al.: Multi-modal sliding window-based support vector regression for predicting plant water stress, Knowledge-Based Syst, Vol.134, pp.135-148, 2017.
- [2] 中野和弘, 他: ハウス内環境の制御システムに関する研究 (第 4 報), 農業施設, Vol.31(3), pp.163-170, 2000.
- [3] 新田益男, 他: 日射比例かん水制御装置の開発および高糖度トマトの根域制限栽培への適合性, 高知農技セ研報, Vol.18, pp.31-38, 2017.
- [4] 大石直記: トマトの養液栽培における水分ストレスに応じた給液制御システムの開発(2)-茎径変化を利用した給液制御-, 生物環境調節, Vol.40(1), pp.91-98, 2002.
- [5] 後藤将弥, 他: 植物生育と栽培環境に順応する灌水制御手法の提案, DICOMO2019 シンポジウム, pp.629-636, 2019.
- [6] 木野本真沙江, 他: 細霧冷却装置利用による相対湿度の制御がトマト生体情報および収量品質に及ぼす影響, 栃木県農業試験場研究報告, Vol.71, pp.27-31, 2013.